

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *SIMULATED ANNEALING* PADA
PENJADWALAN PRODUKSI UNTUK MEMINIMASI *MAKESPAN*
(Studi Kasus di PT. Gatra Mapan, Karang Ploso, Malang)**

**SIMULATED ANNEALING ALGORITHM IMPLEMENTATION IN
PRODUCTION SCHEDULING TO MINIMIZE *MAKESPAN*
(Case Study in PT. Gatra Mapan, Karang Ploso, Malang)**

Hafid AS Shiddiq¹⁾, Sugiono²⁾, Ceria Farela Mada Tantrika³⁾

Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang, 65145, Indonesia

E-mail : hafid.assiddiq@yahoo.com¹⁾, sugiono_ub@ub.ac.id²⁾, ceria_fmt@ub.ac.id³⁾

Abstrak

Penjadwalan adalah proses perencanaan dalam mengatur sumber-sumber daya yang ada untuk menyelesaikan tugas atau pekerjaan yang ada dalam batas waktu tertentu. PT. Gatra Mapan adalah perusahaan yang bergerak dibidang furniture manufacturing. Proses produksi perusahaan berdasarkan make to order. Fakta di lapangan selalu terdapat beberapa job yang tidak selesai dikerjakan pada bulan tersebut. Sehingga job tersebut harus masuk ke masterplan pada bulan berikutnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan urutan pengerjaan job yang dapat meminimasi makespan. Metode yang digunakan dalam menjadwalkan job yaitu menggunakan algoritma simulated annealing (SA) dengan jadwal inisialisasi menggunakan metode shortest processing time (SPT). Dalam penelitian ini selain menjadwalkan job juga akan dilakukan penjadwalan komponen. Hasil perhitungan didapatkan makespan dari algoritma SA yaitu sebesar 3.796,2 menit. Sedangkan makespan dari penjadwalan perusahaan yaitu sebesar 4.103,2 menit. Dengan demikian algoritma tersebut berhasil mendapatkan makespan 307 menit lebih baik.

Kata kunci : *simulated annealing, minimasi makespan, penjadwalan komponen*

1. Pendahuluan

Pada era kemajuan teknologi saat ini, persaingan dunia bisnis sangat berkembang. Selain menginginkan produk yang memiliki kualitas yang baik, konsumen juga menginginkan produk sampai ke tangan mereka pada saat yang tepat dan jumlah yang sesuai dengan harapannya. Untuk mencapai hal tersebut tidak lepas dari ketersediaan sumber daya manusia atau operator, selain itu ketersediaan bahan baku, serta ketersediaan fasilitas produksi. Terkadang sumber daya yang dimiliki perusahaan sangat terbatas, sedangkan kebutuhan konsumen semakin meningkat dan menuntut untuk diselesaikan tepat waktu. Hal ini menimbulkan berbagai permasalahan muncul. Karena itu dibutuhkan suatu sistem penjadwalan produksi yang mengatur sumber – sumber yang ada untuk menyelesaikan tugas atau pekerjaan yang ada dalam batas waktu tertentu.

PT. Gatra Mapan merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang *furniture manufacturing*. *Furniture* adalah segala perabot

yang ada dalam sebuah ruangan yang berfungsi untuk menunjang semua aktifitas penghuninya di ruangan tersebut (Hasan, 2012). Produksi dilaksanakan berdasarkan *make to order*. Setiap jenis produk terdiri lebih dari 15 komponen, dengan jumlah kebutuhan yang berbeda – beda setiap komponen. Dalam pelaksanaan proses produksi, perusahaan tidak menjadwalkan pengerjaan komponen – komponen di setiap *workstation* melainkan pengerjaan setiap komponen dilakukan secara acak. Sedangkan dalam pelaksanaan proses produksi untuk setiap *job* yang ada pada setiap bulan, urutan pengerjaan dilakukan sesuai dengan *master plan* perusahaan. Dalam satu bulan, jenis produk *job* yang terdapat dalam *master plan* lebih dari 20 *job* dengan jumlah unit lebih dari 10.000 unit produk per bulan.

Dengan banyaknya jumlah dan variasi produk yang dipesan oleh konsumen, menyebabkan perusahaan kewalahan dalam memenuhi permintaan tersebut. Sehingga terdapat beberapa *job* yang seharusnya dalam *master plan* selesai pada bulan tersebut harus

masuk ke *master plan* pada bulan berikutnya, dikarenakan *job* tersebut belum selesai dikerjakan. Penyisipan *job* ke *master plan* bulan berikutnya dalam perusahaan biasa disebut dengan *carry over*. Jumlah *job* yang mengalami *carry over* pada beberapa bulan terakhir dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Job* dan unit yang mengalami *carry over*

Bulan	Tipe Produk	Jumlah Unit
Juli	Bel Air 2 Square Storage Wg	38
	Lb 1200 Black	580
	Bel Air 2 Cabinet Wg	187
	Bel Air 2 Sideboard Wg	506
	Bel Air 2 Tv Rack Wg	448
Agustus	Bel Air 2 Cabinet Wg	962
	Bel Air 2 Sideboard Wg	1831
	Bel Air 2 Square Storage Wg	387
	Bel Air 2 Tv Rack Wg	155
September	Bel Air 2 Sideboard Wg	1670
	Bel Air 2 Square Storage Wg	550
	Bel Air 2 Tv Rack Wg	836
Oktober	Bel Air 2 Cabinet Wg	554
November	Marion Sideboard Idea Sn Oak Dark 3d	100
	Tv Stand Scult Wg – Bg	62
Desember	Cleo Bed 160 W 6299 - W Glossy	50
	Maza Bookcase Black Minirose	40
	Maza Bookcase Black Minirose – White	40
	Dante Tv Stand Black Glossy – Wg	40
	Dante Tv Stand Grey Glossy – Wg	40
	Penna 3 D 3 Drw Bg – Wg	40
	Foi Zv Sideboard 4d Bg – Wg	75
	Foi Zv Bookcase Bg – Wg	30
	Rustic 3 D Ward Latin Walnut	60
	Foi Zv Sideboard 4d Bg – Wg	15
Januari	Foi Zv Bookcase Bg – Wg	30
	Dino Sideboard 2 D 3 Drw Sn Oak Light – Wg	890
	Dino Chest 2 D 2 Drw Sn Oak Light - Red Glossy	820
	Bel Air 2 Tv Rack Wg	200
	Rustic Sideboard Latin Walnut	761

Pesanan yang datang dari beberapa tipe varian produk dalam sekali *order* dalam jumlah tertentu, hal ini juga menambah kesulitan dari pengerjaan seluruh pesanan tersebut sehingga dapat menimbulkan masalah total waktu penyelesaian seluruh *job* yang lebih besar dari

due date yang telah ditentukan (Sitorus, 2011). *Carry over* otomatis akan menambah beban pengerjaan pada bulan berikutnya yang sudah dijadwalkan sesuai dengan *master plan* pada bulan itu. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya yaitu pelaksanaan penjadwalan produksi yang berpacu pada *master plan* di lantai pabrik belum menghasilkan waktu penyelesaian tiap *job* dan *makespan* yang optimal.

Workstation vacuum, merupakan salah satu tahapan dalam pengerjaan setiap *job*. Proses *vacuum* adalah pemberian lapisan plastik pada permukaan komponen dengan perekatan menggunakan pemanas. Tahapan proses pengerjaan pada *workstation vacuum* yaitu *spray*, pengeringan, gosok, *vacuum*, dan *cutting*. Selain itu proses ini merupakan unggulan dari perusahaan yang membedakan produk yang dihasilkan dengan produk pesaingnya. Keinginan konsumen saat ini lebih mengarah ke produk hasil *vacuum*. Oleh karena itu dengan keterbatasan sumberdaya yang dimiliki ketika perusahaan dapat memaksimalkan proses *vacuum*, keuntungan yang didapatkan oleh perusahaan akan menjadi lebih maksimal.

Penjadwalan selalu mengaitkan proses pengerjaan beberapa komponen yang disebut *job*. *Job* sendiri terdiri dari beberapa elemen yang disebut aktivitas atau operasi. Dalam setiap aktivitas atau operasi memerlukan alokasi sumber daya tertentu selama periode waktu tertentu yang disebut dengan waktu proses. Elemen – elemen seperti mesin, transportasi, waktu tunggu dan lain – lain juga termasuk beberapa sumber daya yang dibutuhkan.

Simulated Annealing merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk optimasi yang bersifat generik. Algoritma ini dapat diaplikasikan untuk mencari pendekatan terhadap solusi optimum global dari suatu permasalahan. Masalah – masalah optimasi kombinatorial, dimana ruang pencarian solusi yang ada terlalu luas, sehingga hampir tidak mungkin ditemukan solusi eksak terhadap permasalahan itu, merupakan masalah yang memerlukan pendekatan *simulated annealing* (Thiang, 2009). Kelebihan *simulated annealing* dibandingkan dengan metode lain adalah kemampuannya untuk menghindari jebakan optimal lokal. Algoritmanya merupakan algoritma pencarian acak, tetapi tidak hanya menerima nilai obyektif yang selalu turun,

melainkan terkadang menerima nilai obyektif yang naik juga (Basuki, Huda dan Santosa, 2004). Oleh karena itu metode ini sangat cocok digunakan untuk menentukan urutan penjadwalan yang memiliki banyak variasi urutan penjadwalan.

Diharapkan dengan penerapan metode ini dapat memberikan usulan penjadwalan yang dapat mengurangi total waktu penyelesaian pada *workstation vacuum* baik pengerjaan komponen maupun pengerjaan setiap *job*. Sehingga nantinya metode ini dapat digunakan sebagai acuan dalam penjadwalan seluruh *job* dan dapat mengurangi jumlah *job* yang mengalami *carry over*. Dengan begitu, proses produksi dapat berjalan lebih optimal dan juga penggunaan jam lembur dan shift tambahan dapat diminimalisir.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan penjadwalan dengan menggunakan algoritma *simulated annealing* dan jadwal inisialisasi dengan metode *shortest processing time*. Penjadwalan dilakukan sebanyak 6 kali, yaitu 5 kali penjadwalan komponen dan 1 kali penjadwalan *job*. Kriteria penjadwalan yang digunakan hanya berupa pengurutan *job* dengan dasar penilaian minimasi *makespan*.

Tahapan – tahapan dalam penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Tahap Awal

Merupakan tahapan awal dari penelitian yang terdiri atas :

a. Studi Pustaka

Studi pustaka adalah kegiatan mencari informasi yang didapat dari jurnal, skripsi, internet, buku – buku referensi ataupun sumber lain yang berhubungan dengan permasalahan yang digunakan sebagai referensi dalam pemecahan masalah dalam penjadwalan produksi.

b. Studi Lapangan

Studi lapangan dimaksudkan untuk mengetahui kondisi perusahaan yang diteliti, sehingga dapat diketahui permasalahan yang terdapat pada perusahaan.

c. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah adalah tahapan penelitian dalam memahami permasalahan yang timbul dalam sistem penjadwalan produksi PT. Gatra Mapan.

d. Perumusan Masalah

Setelah masalah diidentifikasi, kemudian diperinci agar memudahkan dalam penyelesaian masalah tersebut.

e. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditetapkan berdasarkan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Tujuan penelitian ditentukan agar penelitian dapat terarah dalam penyelesaian masalah yang ada.

2. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini yang dilakukan adalah mengumpulkan data yang diperlukan selama penelitian berlangsung. Data yang dikumpulkan akan digunakan sebagai input pada pengolahan data untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat. Data – data yang dikumpulkan tersebut terdiri dari:

- a. Data order
- b. Data jumlah dan jenis komponen
- c. Data Jumlah Mesin
- d. Proses Produksi WS Vacuum
- e. Waktu pengamatan

3. Tahap Pengolahan Data

Langkah – langkah dalam pengolahan data adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan pengujian keseragaman data
- b. Melakukan pengujian kecukupan data untuk menentukan jumlah data pengamatan yang diambil.
- c. Menghitung waktu normal dan waktu baku proses,
- d. Menghitung waktu penyelesaian setiap proses untuk setiap komponen dalam *workstation vacuum*.
- e. Memberikan urutan pengerjaan komponen setiap *job* menggunakan metode *simulated annealing* dengan jadwal inisialisasi menggunakan metode *shortest processing time*.

Shortest processing time (SPT) adalah penjadwalan *job* dengan memproses terlebih dahulu *job* yang memiliki waktu proses terpendek, demikian berlanjut untuk *job* yang waktu prosesnya terpendek kedua (Ginting, 2009). Aturan ini akan lebih mementingkan pekerjaan-pekerjaan dengan waktu yang lebih singkat, walaupun pekerjaan tersebut muncul belakangan. Berikut ini merupakan merupakan algoritma heuristik dengan pendekatan *Shortest Processing Time* (SPT) (Baker & Trietsch, 2009):

1. Dimulai dengan urutan *job* yang tidak mengacu pada aturan SPT.

2. Alokasi dua pekerjaan sebagai *job i* dan *j*, dimana *i* mengikuti *j* dengan syarat $p_i < p_j$.
3. Ubah urutan antara *job i* dan *j*.
4. Kembali ke langkah ke-2, sampai urutan SPT terbentuk.

Simulated annealing (SA) menurut Santosa (2011) adalah algoritma yang meniru perilaku fisik proses pendinginan baja. Baja yang dipanaskan sampai suhu tertentu kemudian didinginkan secara perlahan. Ketika baja dipanaskan sampai suhu mendidih, atom – atom dalam baja tersebut bergerak bebas, dan ketika suhu dari baja menurun semakin terbatas gerakannya. Dengan menurunnya suhu, susunan atom – atom dari baja menjadi lebih teratur dan akhirnya membentuk kristal yang memiliki energi internal yang optimum.

Metoda *simulated annealing* menganalogikan pada proses pendinginan secara perlahan baja / metal yang mendidih ini untuk mencapai nilai minimum fungsi dalam permasalahan minimasi. Proses pendinginan ini ditiru dengan cara menentukan parameter yang serupa dengan suhu lalu mengontrolnya dengan konsep *distribusi probabilitas Boltzmann*. Distribusi probabilitas Boltzmann menyatakan bahwa energi (*E*) dari suatu sistem dalam keseimbangan panas pada suhu *T* terdistribusi secara probabilistik mengikuti rumus:

$$P(E) = e^{-E/kT} \quad (\text{pers.1})$$

Dimana *P(E)* menyatakan peluang mencapai tingkat energi *E*, *T* adalah suhu dan *k* konstanta Boltzmann. Dalam minimasi fungsi, misalkan solusi yang sekarang adalah *x* dan nilai fungsinya *f(x)*, mirip dengan status energi pada sistem termodinamika, energi *E_i* pada status *x_i* adalah:

$$E_i = f_i = f(x_i) \quad (\text{pers.2})$$

E dalam permasalahan penjadwalan pekerjaan pada penelitian ini adalah *makespan*. Menurut Rajendran dalam Dewi (2013) *makespan* dapat dihitung dengan rumus:

$$Z = \max\{C_i, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (\text{pers.3})$$

Menurut kriteria Metropolis, probabilitas titik selanjutnya adalah *x_{i+1}* bergantung pada perbedaan status energi atau fungsi tujuan di dua titik (status) diberikan oleh:

$$P[E_{i+1}] = \min \{1, e^{-\frac{\Delta E}{kT}}\} \quad (\text{pers.4})$$

Titik baru bisa ditemukan dengan menggunakan distribusi probabilitas Boltzmann tersebut. Untuk faktor Boltzman, *k*, bisa diberi nilai 1. Jika $\Delta E \leq 0$, maka $P[E_{i+1}] = 1$ sehingga titik *x_{i+1}* selalu diterima. Dengan menurunnya temperatur *T* probabilitas untuk menerima titik *x_{i+1}* yang lebih buruk dari titik sebelumnya akan mengecil. Sehingga jika temperatur semakin rendah (semakin dekat dengan titik optimal), peluang suatu solusi *x_{i+1}* dengan nilai *f* lebih besar dibanding pada titik *x_i* akan semakin kecil.

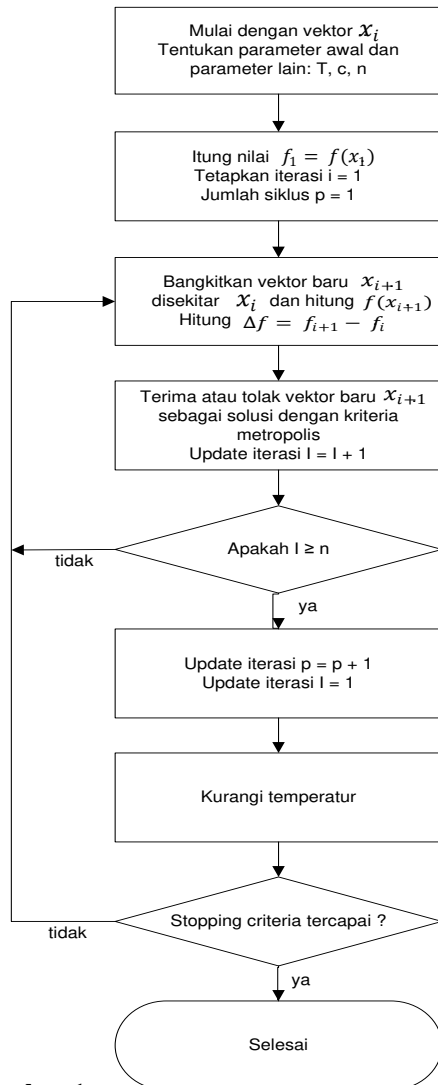
Menurut Santosa (2011) algoritma SA dapat dijelaskan secara ringkas sebagai berikut. Algoritma ini dimulai dengan suatu vektor solusi *x_i* (iterasi *i* = 1) dan nilai temperatur *T* yang cukup tinggi. Bangkitkan vektor solusi baru secara random yang dekat dari titik sekarang dan hitung perbedaan nilai fungsi tujuannya:

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_{i+1} - E_i = \Delta f = f_{i+1} - f_{\text{HC}} \\ &= f(x_{i+1}) - f(x_i) \quad (\text{pers.5}) \end{aligned}$$

Jika *f_{i+1}* lebih kecil dari *f_i* (dengan nilai Δf negatif), terima titik *f_{i+1}* sebagai titik solusi baru. Sebaliknya jika titik Δf positif, probabilitas menerima *x_{i+1}* sebagai solusi baru adalah $e^{-\Delta f/kT}$. Untuk menerima atau tidak, perlu dicari pembandingan terhadap nilai probabilitas ini. Kita perlu bangkitkan bilangan random antara (0,1). Jika nilai random yang dibangkitkan ini lebih kecil dari nilai $e^{-\Delta f/kT}$, terima titik *x_{i+1}*; sebaliknya, tolak *x_{i+1}*. Jika titik *x_{i+1}* ditolak, maka dilanjutkan proses pembangkitan nilai baru *x_{i+1}* secara random dalam area yang berdekatan dengan titik sekarang *x_i* dalam batas – batas tertentu, lalu mengevaluasi nilai fungsi tujuan *f_{i+1}*, dan memutuskan untuk menerima *x_{i+1}*, sebagai titik baru, berdasarkan kriteria Metropolis. Untuk mensimulasikan pencapaian equilibrium thermal pada setiap temperatur, sebanyak *n* titik baru *x_{i+1}* dievaluasi pada setiap titik temperatur tertentu *T*. Jika jumlah titik *x_{i+1}* yang diuji pada sembarang temperatur *T* melebihi nilai *n*, temperatur *T* dikurangi dengan proporsi tertentu yaitu $c(0 < c < 1)$ dan seluruh proses diulang lagi. Prosedur ini diasumsikan akan mengalami konvergensi ketika nilai temperatur *T* yang dicapai cukup kecil atau jika perubahan nilai fungsi tujuan

(Δf) sudah sangat kecil. Gambar 1 menunjukkan langkah – langkah dari algoritma SA.

- f. Menghitung waktu penyelesaian setiap proses untuk setiap *job* dalam *workstation* vacuum.
- g. Memberikan urutan pengerjaan *job* pada *workstation* vacuum menggunakan metode *simulated annealing* dengan jadwal inisialisasi menggunakan metode *shortest processing time*.



Gambar 1.
Flowchart Simulated Annealing

4. Tahap Analisis Data

Setelah dilakukan pengolahan data, pada tahap ini *output* yang berupa urutan pengerjaan dan juga *makespan* akan dibandingkan dengan *makespan* dari urutan penjadwalan dari perusahaan.

5. Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dalam penelitian. Kesimpulan berisikan hasil

pengolahan data yang menghasilkan urutan *job* yang merupakan hasil pemecahan masalah dan dapat diusulkan kepada perusahaan. Saran diberikan penulis kepada perusahaan maupun penelitian selanjutnya untuk pengembangan lebih lanjut metode yang ada.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengumpulan Data

Sebelum melakukan penjadwalan produksi akan dilakukan pengumpulan data yang diperlukan selama penelitian. Data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut.

a. Data Order

Data pesanan produk yang dikumpulkan dalam penelitian ini diambil dari *masterplan* pada bulan April 2014. Produk yang dipilih merupakan produk yang paling sering dipesan oleh konsumen. Data order dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Order

Job	Tipe	Jumlah
1	Bel Air 2 Sideboard Bg	1.201
2	Bel Air 2 Cabinet Bg	1.397
3	Bel Air 2 Display Cab Bg	654
4	Bel Air 2 Square Storage Bg	619
5	Bel Air 2 Tv Rack Bg	517

b. Data Jumlah dan Jenis Komponen

Pada masing – masing produknya terdapat beberapa jenis komponen yang memiliki nama yang sama dengan jenis komponen pada produk lain. Tetapi jenis komponen yang sama tersebut memiliki dimensi yang berbeda – beda sesuai dengan spesifikasi yang dimiliki oleh setiap produknya. Untuk data jenis dan jumlah komponen produk Bel Air 2 Sideboard Bg dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk produk Bel Air 2 Cabinet Bg dapat dilihat pada Tabel 4. Untuk produk Bel Air 2 Display Cab Bg dapat dilihat pada Tabel 5. Sedangkan untuk produk Bel Air 2 Square Storage Bg dapat dilihat pada Tabel 6. Dan yang terakhir untuk data jenis dan jumlah komponen produk Bel Air 2 Tv Rack Bg dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 3. Data Jenis dan Jumlah Komponen Produk Bel Air 2 Sideboard Bg

No.	Jenis Komponen	Jumlah Komponen	Total Komponen
1	Meja Atas	1	1.201
2	Pintu Kiri	1	1.201

3	Pintu Kanan	1	1.201
4	Frame Atas Pintu	1	1.201
5	Frame Bawah Pintu	1	1.201

Tabel 4. Data Jenis dan Jumlah Komponen Produk Bel Air 2 Cabinet Bg

No.	Jenis Komponen	Jumlah Komponen	Total Komponen
1	Meja Atas	1	1397
2	Pintu Atas	2	2794
3	Frame Atas Pintu	1	1397
4	Frame Bawah Pintu	1	1397

Tabel 5. Data Jenis dan Jumlah Komponen Produk Bel Air 2 Display Cab Bg

No.	Jenis Komponen	Jumlah Komponen	Total Komponen
1	Meja Atas	1	654
2	Frame Atas Pintu Kaca	1	654
3	Frame Bawah Pintu Kaca	1	654
4	Pintu Bawah	1	654

Tabel 6. Data Jenis dan Jumlah Komponen Produk Bel Air 2 Square Storage Bg

No.	Jenis Komponen	Jumlah Komponen	Total Komponen
1	Meja Atas	1	619
2	Pintu Kanan	2	1238
3	Pintu Kiri	2	1238

Tabel 7. Data Jenis dan Jumlah Komponen Produk Bel Air 2 Tv Rack Bg

No.	Jenis Komponen	Jumlah Komponen	Total Komponen
1	Meja Atas	1	517
2	Batukan	1	517
3	Kepala Laci Kiri	1	517
4	Kepala Laci Kanan	1	517

- c. Data Jumlah Mesin
 Data jumlah mesin menunjukkan sumber daya berupa mesin, peralatan ataupun operator dengan jumlah yang berbeda – beda untuk setiap proses. Data jumlah mesin dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Jumlah Mesin, Peralatan atau Operator

No.	Proses	Jumlah Mesin / Operator
1	<i>Spray</i>	3 Operator
2	Pengeringan	4 Rack
3	Gosok	8 Operator
4	Vacuum	4 Mesin
5	<i>Cutting</i>	2 Operator

- d. Proses Produksi WS Vacuum
 Pada *workstation* vacuum terdapat 5 jenis proses pengerjaan, yaitu *spray*, pengeringan, gosok, vacuum dan *cutting*.
- e. Data Waktu Pengamatan

Pengamatan pada setiap komponen di setiap proses dilakukan secara langsung dengan cara mengukur waktu pemrosesan dengan bantuan *stopwatch*.

3.2 Pengukuran Waktu Kerja

Data yang telah dikumpulkan kemudian akan dilakukan pengujian data, yaitu pengujian keseragaman data dan kecukupan data. Setelah data hasil pengamatan dinyatakan seragam dan cukup, data tersebut dapat digunakan dalam penentuan waktu kerja. Dalam pengukuran waktu kerja langkah – langkah yang dilakukan meliputi: Penentuan *performance rating*, penentuan *allowance*, menghitung waktu normal, menghitung waktu baku.

Waktu baku yang dihitung hanya untuk 4 proses yaitu berturut – turut *spray*, gosok, vacuum, dan *cutting*. Sedangkan waktu untuk proses pengeringan adalah sama, yaitu 10 menit untuk sekali proses. Lama waktu pemrosesan setiap komponen dalam menit dibagi berdasarkan jenis produk yang ada yaitu sebagai berikut:

- Pada produk Bel Air 2 Sideboard BG memiliki waktu baku setiap komponen dalam setiap proses berturut – turut yaitu: meja atas 22.961, 1.451, 3.293, 0.369; pintu kanan 12.457, 1.017, 1.855, 0.192; pintu kiri 12.509, 1.020, 1.857, 0.191; frame atas 10.249, 1.847, 3.113, 0.311; dan frame bawah 10.265, 1.841, 3.113, 0.311.
- Pada produk Bel Air 2 Cabinet BG memiliki waktu baku setiap komponen dalam setiap proses berturut – turut yaitu: meja atas 16.007, 2.229, 3.689, 0.247; pintu atas 14.160, 1.273, 5.265, 0.239; frame atas 8.651, 0.875, 5.735, 0.185; frame bawah 8.724, 0.895, 5.472, 0.196.
- Pada produk Bel Air 2 Display cab BG memiliki waktu baku setiap komponen dalam setiap proses berturut – turut yaitu: meja atas 15.347, 2.137, 2.199, 0.173; frame atas 11.737, 0.673, 3.443, 0.225; frame bawah 11.748, 0.683, 3.481, 0.149; pintu bawah 11.764, 1.476, 2.551, 0.324.
- Pada produk Bel Air 2 Square Storage BG memiliki waktu baku setiap komponen dalam setiap proses berturut – turut yaitu: meja atas 15.335, 0.844, 2.436, 0.228; pintu kanan 11.845, 1.776, 2.347, 0.307; pintu kiri 11.827, 1.792, 2.355, 0.308.
- Pada produk Bel Air 2 TV Rack BG memiliki waktu baku setiap komponen dalam setiap proses berturut – turut yaitu:

meja atas 16.019, 2.176, 2.795, 0.225; batukan 10.260, 0.877, 2.907, 0.216; kepala laci kanan 15.401, 1.036, 2.583, 0.261; kepala laci kiri 15.381, 1.013, 2.609, 0.261.

3.3 Penjadwalan Produksi Komponen

Pada tahap ini akan ditentukan urutan komponen mana yang akan dikerjakan terlebih dahulu untuk setiap produk. Penjadwalan komponen dilakukan untuk setiap produk, tidak acak bersilangan komponen antar produk. Untuk menjadwalkan pekerjaan menggunakan algoritma *simulated annealing* dibutuhkan waktu penyelesaian setiap komponen. Waktu tersebut digunakan sebagai input dalam menjalankan algoritma *simulated annealing*. Waktu penyelesaian setiap komponen didapatkan dengan memperhitungkan waktu baku, jumlah komponen, jumlah mesin dan kapasitas mesin masing – masing proses.

Penjadwalan dengan algoritma *Simulated Annealing* memiliki langkah – langkah sebagai berikut :

1. Menentukan jadwal inisialisasi penjadwalan

Untuk menjadwalkan pekerjaan menggunakan algoritma *simulated annealing* dibutuhkan waktu penyelesaian setiap komponen. Waktu tersebut digunakan sebagai input dalam menjalankan algoritma *simulated annealing*. Pada waktu penyelesaian ini kapasitas mesin dijadikan dalam bentuk batch.

Langkah pertama dalam penjadwalan dengan algoritma *simulated annealing* ini adalah menentukan jadwal inisialisasi. Jadwal tersebut ditentukan menggunakan metode *shortest processing time*. Komponen dengan waktu proses pada proses pertama yang paling pendek akan dikerjakan terlebih dahulu, begitu seterusnya. Proses pertama pada WS Vacuum adalah proses *spray*, dengan begitu proses tersebut akan dijadikan acuan dalam penentuan jadwal inisialisasi. Sebagai contoh pada produk Bel Air 2 Cabinet Bg. Produk tersebut memiliki 4 komponen yang akan diurutkan pengerjaannya. Pada komponen pertama yaitu meja atas memiliki waktu proses pada proses *spray* adalah sebesar 16,007 menit. Sedangkan pada komponen pintu atas waktu proses *spray* adalah 14,160 menit. Pada komponen frame atas waktu proses *spray* adalah 8,651 menit. Dan pada komponen frame bawah waktu proses *spray* adalah 8,724 menit. Dengan demikian urutan pengerjaan komponen berdasarkan

metode *shortest processing time* yaitu frame atas, frame bawah, pintu atas, meja atas.

2. Menentukan parameter sebagai input

Input yang digunakan dalam dalam penjadwalan komponen menggunakan algoritma *simulated annealing* selain waktu penyelesaian dan jadwal inisialisasi adalah suhu awal, faktor pereduksi temperatur, dan banyaknya iterasi. Untuk suhu awal dalam penelitian ini ditentukan sebesar $T = 100$. Suhu awal ini tidak terlalu tinggi, sehingga langkah pengurangan temperatur yang terlalu banyak dengan hasil yang sama bisa dihindari. Suhu awal ini juga tidak terlalu kecil tujuannya adalah mengurangi kemungkinan titik – titik yang bisa menjadi global optimum akan terlewat. Untuk faktor pereduksi suhu dipilih $c = 0,6$ sesuai dengan Santosa (2011). Nilai tersebut dapat menghindari langkah komputasi yang terlalu banyak jika nilai c terlalu besar. Selain itu juga dapat menghindari penurunan temperatur yang terlalu cepat jika nilai c terlalu kecil. Sedangkan untuk banyaknya iterasi ditentukan sebanyak 2 iterasi. Jumlah iterasi ini disesuaikan dengan besarnya ruang solusi yang ada. Jumlah iterasi tidak besar karena menyesuaikan dengan permasalahan agar tidak menghasilkan langkah komputasi yang terlalu banyak dengan hasil yang sama.

Selain input, dalam menjalankan algoritma *simulated annealing* sebelumnya juga harus ditentukan kriteria pemberhentian apa yang dipilih. Dalam penelitian ini kriteria pemberhentian ditentukan berdasarkan selisih suhu sekarang dengan suhu baru. Sedangkan besar selisih suhu ditetapkan sebesar 0,1. Proses pencarian akan terus berlangsung dengan suhu awal yang akan terus berkurang yang disebabkan oleh faktor pereduksi suhu. Proses tersebut berhenti ketika selisih perubahan suhu yang dihasilkan lebih kecil dari selisih suhu yang telah ditetapkan sebelumnya.

3. Membangkitkan dan mengevaluasi solusi baru

Pembangkitan solusi baru dilakukan dengan membangkitkan 2 bilangan acak sejumlah *job* yang akan dijadwalkan. Kedua bilangan acak tersebut menunjukkan posisi *job* yang akan ditukar.

Berikut merupakan contoh proses pembangkitan dan evaluasi solusi baru pada produk Bel Air 2 Cabinet Bg. Berdasarkan jadwal inisialisasi komponen produk Bel Air 2 Cabinet Bg menghasilkan urutan *job* 3 – 4 – 2 –

1. Berdasarkan urutan yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan *makespan*.

Urutan jadwal inisialisasi tersebut menghasilkan nilai *makespan* sebesar 1.490 menit. Langkah selanjutnya yaitu masuk ke proses iterasi pada siklus pertama dengan suhu awal 100. Pada iterasi pertama secara random menghasilkan urutan *job* 2 – 4 – 3 – 1. Dengan demikian urutan pengerjaan komponen menjadi pintu atas, frame bawah, frame atas dan meja atas. Berdasarkan urutan yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan *makespan*.

Urutan jadwal baru tersebut menghasilkan *makespan* 1.438,3 menit. Kemudian hasil *makespan* tersebut akan dievaluasi. *Makespan* baru yang dihasilkan didefinisikan sebagai f_{i+1} , sedangkan *makespan* lama didefinisikan sebagai f_i . Kemudian dihitung Δf nya sesuai pers.5.

$$\begin{aligned}\Delta f &= f_{i+1} - f_i \\ &= 1.438,3 - 1.490 \\ &= -51,7\end{aligned}$$

Karena solusi baru yang dihasilkan menghasilkan nilai $\Delta f = -51,7$ (Δf negatif), atau solusi baru yang dihasilkan lebih baik dari pada solusi sekarang. Maka solusi baru diterima dan dijadikan sebagai solusi sekarang. Kemudian masuk ke iterasi 2, yaitu dengan membangkitkan solusi baru berdasarkan solusi sekarang. Didapatkan solusi baru dengan urutan 2 – 3 – 4 – 1. Dengan demikian urutan pengerjaan komponen menjadi pintu atas, frame atas, frame bawah dan meja atas. Berdasarkan urutan yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan *makespan*.

Urutan jadwal baru tersebut menghasilkan *makespan* 1.439,7 menit. Kemudian hasil *makespan* tersebut akan dievaluasi dengan menghitung Δf nya. Dalam perhitungan ternyata solusi baru yang dihasilkan lebih buruk dari pada solusi sekarang yaitu $\Delta f = 1,4$ (Δf positif). Oleh karena itu dilakukan perhitungan probabilitas boltzman. Berikut contoh perhitungan probabilitas boltzman sesuai pers.1:

$$\begin{aligned}P(E) &= e^{-E/kT} \\ &= 2,718^{-1,4/(1)(100)} \\ &= 0,986\end{aligned}$$

Setelah itu nilai yang dihasilkan dari probabilitas boltzman akan dibandingkan dengan bilangan random antara 0 dan 1. Misal bilangan random yang muncul yaitu 0,879. Maka $0,879 < 0,986$, ternyata nilai random

yang dibangkitkan ini lebih kecil dari nilai probabilitas. Maka solusi baru tersebut diterima sebagai solusi sekarang. Jika nilai random lebih besar berarti solusi baru ditolak, maka dilanjutkan proses pembangkitan solusi baru berdasarkan solusi sekarang.

Karena jumlah iterasi yang dilakukan telah memenuhi jumlah iterasi yang ditentukan yaitu 2 maka akan masuk ke siklus selanjutnya. Untuk memulai siklus kedua akan dilakukan penurunan suhu terlebih dahulu. Penurunan suhu dilakukan dengan mengalikan suhu sekarang dengan faktor penurunan suhu. Berikut merupakan contoh perhitungan dari penurunan suhu:

$$\begin{aligned}T_{i+1} &= T_i \times c && \text{(pers.6)} \\ &= 100 \times 0,6 \\ &= 60\end{aligned}$$

Setelah mendapatkan suhu baru, kemudian kembali masuk ke proses iterasi. Pada siklus baru ini iterasi kembali ke iterasi ke-1. Langkah selanjutnya yaitu membangkitkan solusi baru kembali berdasarkan solusi sekarang. Jika iterasi telah mencapai yang ditentukan maka akan kembali memasuki siklus baru, yaitu dengan mengurangi suhu sekarang. Proses tersebut tersebut berlangsung terus sampai kriteria pemberhentian tercapai.

Pada penjadwalan komponen ini terdiri dari lima kali penjadwalan, yaitu berdasarkan dari jumlah produk yang diteliti. Proses penjadwalan komponen dengan algoritma *simulated annealing* ini dilakukan dengan menggunakan software Matlab 7.8.0.

3.4 Penjadwalan Produksi Job

Waktu penyelesaian setiap *job* digunakan sebagai input dalam menjalankan algoritma *simulated annealing*. Waktu tersebut sama dengan waktu penyelesaian setiap komponen, tetapi setiap komponennya tidak berdiri sendiri melainkan dikelompokkan berdasarkan *job*. Sedangkan urutan komponen dalam setiap *job* menggunakan urutan hasil perhitungan penjadwalan komponen sebelumnya.

Pada tahap ini dalam menjadwalkan *job* sama dengan dalam penjadwalan komponen. Langkah pertama yang dilakukan yaitu menentukan jadwal inisialisasi. Jadwal inisialisasi ditentukan berdasarkan metode *shortest processing time*, yaitu dengan membandingkan waktu proses pertama pada komponen pertama yang diproses pada setiap *job*. Waktu proses yang paling pendek akan

diproses terlebih dahulu. Dengan demikian urutan pengerjaan *job* berdasarkan metode *shortest processing time* yaitu Bel Air 2 Display cab BG, Bel Air 2 Square Storage BG, Bel Air 2 TV Rack BG, Bel Air 2 Sideboard BG, dan yang terakhir adalah Bel Air 2 Cabinet BG. Berdasarkan urutan yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan *makespan*

Hasil perhitungan *makespan* dari seluruh *job* berdasarkan metode *shortest processing time* yaitu sebesar 3.908,2 menit. Langkah selanjutnya, yaitu melakukan perhitungan *makespan* menggunakan algoritma *simulated annealing*. Sedangkan input dalam penjadwalan *job* ini menggunakan suhu awal $T = 100$, faktor pereduksi suhu $c = 0,6$ dan jumlah iterasi $n = 2$. Dan proses penjadwalan *job* dengan algoritma *simulated annealing* ini menggunakan software Matlab 7.8.0.

Algoritma Algoritma tersebut memberikan urutan pengerjaan yaitu Bel Air 2 Square Storage BG, Bel Air 2 Display cab BG, Bel Air 2 Sideboard BG, Bel Air 2 TV Rack BG dan yang terakhir Bel Air 2 Cabinet BG. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan *makespan* yang lebih baik dari pada *makespan* yang dihasilkan menggunakan metode *shortest processing time*. *Makespan* yang dihasilkan dengan algoritma *simulated annealing* yaitu sebesar 3.796,29 menit. Dengan demikian algoritma ini menghasilkan 112 menit lebih baik dari pada menggunakan metode *shortest processing time*.

4. Analisa Data

Hasil penjadwalan dengan menggunakan algoritma *simulated annealing* akan dibandingkan dengan penjadwalan yang terdapat pada perusahaan. Penjadwalan pada perusahaan dilakukan berdasarkan *masterplan*. Pada *masterplan* bulan April 2014 urutan pengerjaan dari kelima produk yang diteliti adalah Bel Air 2 Sideboard BG, Bel Air 2 Cabinet BG, Bel Air 2 Display cab BG, Bel Air 2 Square Storage BG dan yang terakhir Bel Air 2 TV Rack BG. Perbandingan urutan pengerjaan berdasarkan *master plan* dan algoritma *simulated annealing* dapat dilihat pada Tabel 9. Dari urutan penjadwalan berdasarkan *masterplan* tersebut kemudian dilakukan perhitungan *makespan*.

Tabel 9. Perbandingan Urutan Pengerjaan dengan *Master Plan*

Metode	Urutan Penjadwalan
<i>Master Plan</i>	Bel Air 2 Sideboard BG – Bel Air 2 Cabinet BG – Bel Air 2 Display cab BG – Bel Air 2 Square Storage BG – Bel Air 2 TV Rack BG
<i>Simulated Annealing</i>	Bel Air 2 Square Storage BG – Bel Air 2 Display cab BG – Bel Air 2 Sideboard BG – Bel Air 2 TV Rack BG – Bel Air 2 Cabinet BG

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penjadwalan berdasarkan algoritma *simulated annealing* menghasilkan *makespan* seluruh *job* lebih baik dari pada *makespan* yang dihasilkan dari penjadwalan perusahaan. *Makespan* yang didapatkan dari penjadwalan perusahaan yaitu sebesar 4.103,2 menit, sedangkan *makespan* dihasilkan dengan algoritma *simulated annealing* yaitu sebesar 3.796,2 menit. Dengan demikian algoritma ini menghasilkan 307 menit lebih baik. Perbandingan *makespan* yang dihasilkan untuk setiap metodenya dapat dilihat pada Tabel 10. Perusahaan dapat memaksimalkan selisih waktu tersebut untuk mengerjakan komponen produk lain. Sehingga proses produksi berjalan lebih optimal, dan resiko terjadi masuknya *job* ke *master plan* bulan berikutnya (*carry over*) menjadi berkurang. Selisih waktu tersebut akan lebih besar jika perusahaan menerapkan algoritma *simulated annealing* untuk menjadwalkan semua *job* yang terdapat dalam *master plan*.

Tabel 10. Perbandingan *Makespan*

Metode penjadwalan	Makespan (menit)	Metode penjadwalan	Makespan (menit)
<i>Shortest Processing Time</i>	3.908,2	<i>Master plan</i>	4.103,2
<i>Simulated Annealing (SA)</i>	3.796,2	<i>Simulated Annealing (SA)</i>	3.796,2
Selisih	112	Selisih	307

Sedangkan dari parameter – parameter yang digunakan dalam algoritma *simulated annealing*, sudah mampu menghasilkan hasil yang baik. Untuk suhu awal sebesar 100, dengan faktor pereduksi suhu 0,6 menghasilkan 13 siklus sampai kriteria pemberhentian tercapai. Tetapi dalam penelitian ini pada siklus kurang dari 6 telah mampu menghasilkan solusi yang terbaik. Hal ini terbukti dari hasil perhitungan menggunakan software Matlab 7.8.0. Dengan demikian hal tersebut menunjukkan dengan parameter – parameter

yang digunakan sudah mampu menunjukkan hasil yang baik.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan penjadwalan menggunakan algoritma *simulated annealing* didapatkan urutan pengerjaan komponen masing – masing *job*. Urutan pengerjaan komponen produk Bel Air 2 Sideboard BG yaitu pintu kanan – meja atas – pintu kiri – frame bawah – frame atas. Untuk pengerjaan komponen produk Bel Air 2 Cabinet BG yaitu pintu atas – frame bawah – frame atas – meja atas. Pada produk Bel Air 2 Display cab BG didapatkan urutan pengerjaan komponen yaitu frame atas – frame bawah – pintu bawah – meja atas. Pada produk Bel Air 2 Square Storage BG didapatkan urutan pengerjaan komponen yaitu pintu kiri – pintu kanan – meja atas. Sedangkan untuk produk Bel Air 2 TV Rack BG didapatkan urutan pengerjaan komponen yaitu meja atas – kepala laci kiri – batukan – kepala laci kanan.
2. Dari hasil perhitungan penjadwalan menggunakan algoritma *simulated annealing* didapatkan urutan pengerjaan *job* yaitu Bel Air 2 Square Storage BG – Bel Air 2 Display cab BG – Bel Air 2 Sideboard BG – Bel Air 2 TV Rack BG – Bel Air 2 Cabinet BG.
3. Penjadwalan menggunakan algoritma *simulated annealing* menghasilkan *makespan* sebesar 307 menit lebih baik dari pada penjadwalan perusahaan.

Daftar Pustaka

- Baker, Kenneth dan Trietsch, Dan. (2009). *Principles of Sequencing And Scheduling*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Basuki, Huda dan Santoso. (2004). *Modeling dan Simulasi*. Jakarta Selatan. IPTAQ Mulia Media.
- Ginting, Rosnani. (2009). *Penjadwalan Mesin*. Medan. Graha Ilmu.
- Hasan, Zaini. 2012. *Arti Furniture*. <http://emzetha-furniture.blogspot.com/2012/02/arti-furniture.html> (diakses 10 Februari 2014)
- Santosa, Budi dan Willy, Paul. (2011). *Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*. Surabaya. Guna Widya.
- Sitorus, Santa Monita. (2011). Tjolia, Tanib S dan Ginting, Rosnani. *Penjadwalan Flow Shop Multikriteria dengan Kombinasi Metode Genetic Algorithm dengan Data Envelopment Analysis (GA-DEA) di PT Morawa Electric Transbuana*. <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/30139> (diakses 12 Februari 2014)
- Thiang, Dhanny Indrawan. (2009). *Implementasi Metode Simulated Annealing pada Robot Mobil Untuk Mencari Rute Terpendek*. <http://fportfolio.petra.ac.id/user/files/97-031/Thiang-Simulated%20Annealing%20Robot.pdf> (diakses 17 April 2014)